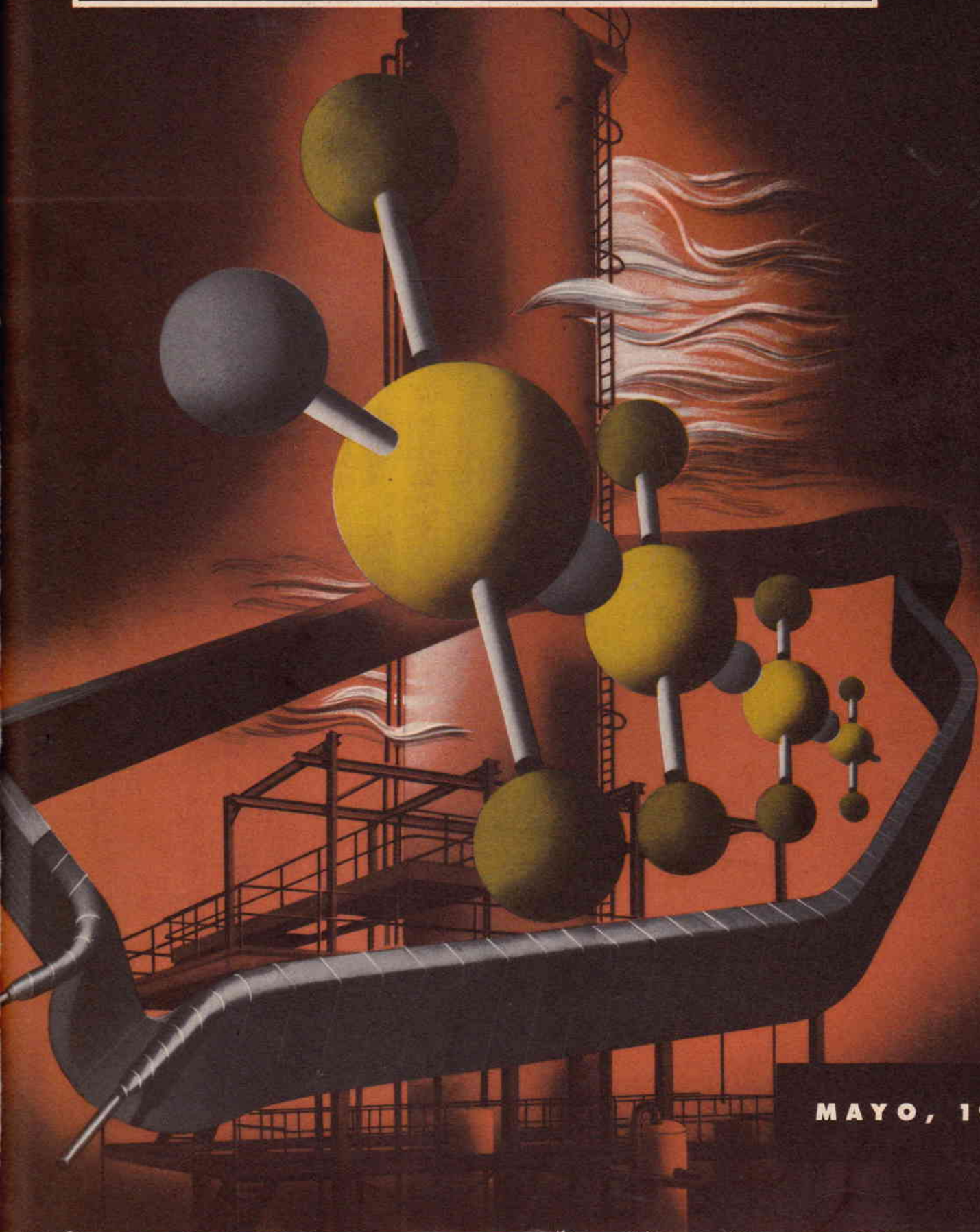


# El Ingeniero

WESTINGHOUSE



MAYO, 1946

*R. Mase*

# La Física nos trae la Técnica Nuclear

**¡Energía procedente del átomo! Ninguna proeza, en toda la historia de la humanidad, ha tenido consecuencias tan estupendas y trascendentales. Afecta a todas las ramas de las actividades humanas—política, militar, social, industrial, y técnica. Para el ingeniero, que hasta ahora sólo se interesó moderadamente en la física atómica, es un nuevo ramo de la técnica que *debe* estudiar . . . si no quiere verse anticuado como profesional y como ciudadano.**

E. U. CONDON, *Codirector de Investigaciones, Westinghouse Elect. Corp.* • *Vicepresidente, Sociedad Norteamericana de Física*

ALAS ramas bien conocidas de la ingeniería civil, mecánica, eléctrica, electrónica y química, los físicos han añadido un nuevo campo de acción—la técnica nuclear. Esta puede definirse como el arte de aplicar las transmutaciones nucleares de la materia a fines prácticos. El tema de la técnica nuclear, que se ha estado desarrollando gradualmente durante los 15 años últimos, está muy presente en la mente de todos nosotros, a causa de su aplicación a la manufactura de una arma militar que acabó la guerra a los 8 días de emplearla por vez primera.

En muchos organismos oficiales se creía que la guerra con el Japón tendría que proseguirse tal vez otro año más. Esto hubiera significado fácilmente la pérdida de 1 000 000 más de vidas de norteamericanos e ingleses, probablemente mayor cantidad de vidas de japoneses, y un costo para nosotros de más de 200 000 000 000 de dólares. En cambio, se restableció la paz a expensas de menos vidas de japoneses y ninguna de norteamericano, y a un costo de sólo 2 000 000 000 de dólares para nosotros. Además, ha puesto en nuestra posesión el medio de asegurar la paz a través de una organización mundial, si se emplea apropiadamente el conocimiento de esta nueva arma.

Con anterioridad a la bomba atómica, la física nuclear había proporcionado un enjambre de ideas nuevas para aplicaciones pacíficas—los neutrones para la terapéutica del cáncer, las sustancias radiactivas artificiales para el tratamiento de la leucocitemia y del cáncer, y para empleo en estudios químicos fundamentales tanto de biología como de industria

*«... nos hallamos en los albores de una época en la cual se desarrollará la energía atómica, que ha de ser indudablemente la proeza técnica más importante de la próxima generación».*

química. Tan importante había llegado a ser esta esfera de actividades antes de la guerra, que varias compañías importantes, entre ellas la Westinghouse, estaban estudiando la fabricación y venta de esas sustancias radiactivas. Aunque la guerra interrumpió estas labores e impuso restricciones de secreto impenetrable sobre toda la investigación nuclear, aceleró enormemente la investigación que culminó tan sensacionalmente en tres bombas atómicas, una que se hizo estallar experimentalmente, y las otras dos arrojadas en el Japón.

Una vez terminada la guerra, podemos dedicar nuestras energías al cultivo diligente de las aplicaciones de la técnica nuclear a fines prácticos—a mejores métodos de producir neutrones y electrones de gran energía para la radioterapia y sustancias radiactivas artificiales para toda clase de aplica-

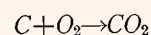
ciones. Además, nos hallamos en los albores de una época en que se desarrollará la energía atómica, que ha de ser indudablemente la proeza técnica más importante de la próxima generación.

Se hacen toda clase de augurios acerca del porvenir de la energía atómica. Algunos dicen que sólo se logrará en un futuro lejano y puede no resultar práctica; otros predicen temerariamente potencia mecánica para los automóviles, del  $U^{235}$  dentro de muy pocos años. Esta gran diversidad de predicciones se debe principalmente, por supuesto, al hecho de que la mayoría de los profetas disponen de poca información concreta que pueda guiarles.

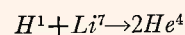
En primer lugar, veamos los aspectos primordiales del tema, en forma de respuestas a algunas preguntas que se le ocurren inmediatamente a cualquier persona con instrucción técnica.

*¿Qué es energía atómica?* Toda la energía que se emplea industrialmente proviene, o bien del trabajo desarrollado por una caída de agua, o de la combustión de sustancias combustibles, principalmente el carbón y los productos del petróleo. En la combustión del carbón, los átomos de carbono se combinan con el oxígeno del aire para formar anhídrido carbónico, con desprendimiento de energía. El rasgo característico es que los átomos que participan en la combustión no cambian intrínsecamente—el átomo de carbono del carbón sigue siendo un átomo de carbono en el  $CO_2$  de los gases de la chimenea. La energía empleada es la que deja disponible la formación de moléculas de  $CO_2$ , del C del carbón y moléculas de  $O_2$  del aire. Esto es lo que se llama energía química.

La llamada energía atómica es la energía correspondiente a los cambios en la naturaleza química fundamental de los átomos. En una reacción química, existen átomos de la misma clase, antes y después, como en la reacción bien conocida de combustión



Pero en las reacciones nucleares, se hace que los átomos reaccionen de tal manera que los átomos producidos no son los mismos que al comienzo. Por ejemplo, la reacción



nuclear, es un proceso que ocurre realmente en el laboratorio.

La fuente de información más importante de que se dispone sobre energía atómica es Memoria relativa al proyecto del "Distrito Manhattan", preparada a petición del General de División L. R. Groves, del Ejército de Estados Unidos de América, por el profesor de la Universidad de Princeton, H. D. Smyth, consultor del proyecto. Esta fascinante Memoria se puede conseguir ahora en forma de libro, de Princeton University Press, y es lecturable recomendada para quienes se interesen en la técnica nuclear. Su precio es de 2 dólares en su edición encuadrada en tela y 1.50 en su edición en rústica. Dirección, Princeton Press, Princeton, N. J. La oficina del General Groves ha hecho saber que, por razones de seguridad, todo lo que pueda decirse sobre energía atómica está contenido en esta memoria. Este artículo del Dr. Condon presenta un resumen del proyecto de la bomba atómica según la memoria del Profesor Dr. Smyth.

rio, descubierto en Inglaterra en 1932. ¡El hidrógeno reacciona con el litio para producir helio! Esto es una transmutación atómica, y bastante extraña al alcance de la ciencia clásica de la química.

Los físicos están acostumbrados a expresar la energía desprendida en términos de electrón voltios por átomo transformado, siendo un electrón-voltio el trabajo desarrollado en un electrón cuando su potencial varía disminuyendo un voltio. Un electrón-voltio es igual a  $1.60 \times 10^{-19}$  vatio-segundo y, por consiguiente, es una cantidad definida de energía, como lo es el kilogramo en el trabajo mecánico ordinario. Los químicos suelen expresar la energía de una reacción en calorías por molécula-gramo de la sustancia transformada.

El calor de formación del  $\text{CO}_2$  es aproximadamente de 94 000 calorías por molécula-gramo, es decir para la formación de  $6.06 \times 10^{23}$  moléculas de anhídrido carbónico (porque éste es el número de moléculas que entran en una molécula-gramo de cualquier sustancia). Como una caloría equivale a 4.18 vatio-segundos, se deduce que la energía desprendida para formar una molécula de  $\text{CO}_2$ , es en vatio-segundos

$$\frac{94000 \times 4.18}{6.06 \times 10^{23}} = 6.5 \times 10^{-19} \text{ vatio-segundos} = 4.1 \text{ electrón-voltios.}$$

En cambio, las mediciones de laboratorio indican que la energía desprendida en la reacción nuclear, mediante la cual el hidrógeno y el litio producen helio, es de 17 millones de electrón-voltios por átomo de litio consumido, o sea, millones de veces mayor, a igualdad de pesos, que la energía química desprendida al quemar carbón. En términos generales, el desprendimiento de energía en muchas de estas reacciones nucleares es del orden de millones de veces, a igualdad de pesos, la energía desprendida en las reacciones químicas.

*¿Por qué no se puede conseguir prácticamente energía atómica "quemando nuclearmente" hidrógeno y litio para formar helio?*

La respuesta se obtiene estableciendo una comparación con el carbón. El carbón (o cualquier otro combustible químico) es útil, no sólo por el desprendimiento de energía, sino también porque se puede hacer un fuego que se mantiene por sí mismo, en el cual el carbono y el oxígeno continúan ardiendo. ¿Qué utilidad tendría el carbón si hubiera que gastar 1000 dólares en fósforos para quemar una tonelada de carbón? Esta era en esencia la situación respecto a todas las reacciones nucleares, antes de descubrirse el fenómeno de la separación o desintegración del uranio en 1939.

Para hacer que los átomos de hidrógeno reaccionen con el litio era necesario ionizarlos y acelerarlos en cierta clase de aparato de alta tensión. De los muchos átomos así acelerados,

sólo unos cuantos chocaban con átomos de litio de manera tal que reaccionaran. La energía empleada en acelerar los demás átomos era desperdiciada. El resultado neto era que se gastaba más energía en el experimento que la energía desprendida. El rendimiento total, o relación de la energía obtenida respecto a la consumida, era sumamente pequeño.

Por tanto, desde 1932 a 1939 sabíamos que era posible desprender grandes cantidades de energía, de muchas reacciones nucleares diferentes—pero sólo era posible producirlas en aparatos de laboratorio que exigían para su funcionamiento más energía que la desprendida por las reacciones nucleares.

*¿Cómo cambió esta situación la separación del uranio?* Tan pronto como llegó a este país la primera noticia del descubrimiento de la separación del

uranio en Alemania, en enero de 1939, los físicos se dieron cuenta inmediatamente de que la posibilidad de obtener energía atómica en forma utilizable estaba a su alcance. Pero digamos primeramente lo que es la separación del uranio. El uranio es un metal cuyo átomo es el más pesado que se conoce en la naturaleza. El núcleo del átomo de uranio contiene 92 protones rodeados por 92 electrones. Una clase de núcleo de uranio, el  $\text{U}^{235}$ , contiene, además de los 92 protones, 143 neutrones, lo que le da un peso total (es decir, peso atómico) de 235. \*Otra clase, y predominante, el  $\text{U}^{238}$ , contiene 146 neutrones, que hacen subir el peso a 238. Cuando un neutrón choca con un núcleo de uranio de manera conveniente, el núcleo se rompe dividiéndose en dos fragmentos iguales aproximadamente, con desprendimiento de unos 200 millones de electrón voltios por átomo partido. Aun siendo grande esta cantidad, no es mayor a igualdad de pesos que la desprendida en la reacción que produce helio del hidrógeno y el litio; en realidad, es solamente como la mitad de magnitud desde el punto de vista del desprendimiento de energía.

Lo importante respecto a la separación del uranio es que el átomo de uranio se despedaza de tal manera que produce dos fragmentos iguales, poco más o menos,—y *que deja en libertad varios neutrones más*. Esta liberación de neutrones es lo que permite que el proceso sea automantenedor. El rompimiento exige un neutrón que lo produzca—y el mismo proceso desintegrante actúa como manantial de neutrones que puedan dar lugar a que se rompan más átomos de uranio. Ahí está la base del proceso automantenedor, llamado técni-

## Minerales de uranio

Aunque hay más de cien minerales que contienen uranio, sólo dos—la uraninita (pechblenda) y la carnotita—tienen gran importancia. Se calcula que el uranio existe en la corteza de la Tierra en la proporción de cuatro millonésimas partes aproximadamente. Los primeros cálculos indicaron que la energía nuclear disponible en los yacimientos conocidos de uranio en el mundo entero, podría suplir todas las necesidades de energía de este país durante 200 años (suponiendo que se utilizara el  $\text{U}^{238}$  así como el  $\text{U}^{235}$ ).

La pechblenda se halla en filones metalíferos, principalmente en Bohemia y Sajonia. Más recientemente se han encontrado yacimientos en el Congo Belga y en la región del Great Bear Lake del Canadá septentrional. La mayoría de las importaciones a este país durante 1942 y 1943, que son los últimos años cuyas cifras de importación se conocen, eran del Canadá y del Congo Belga.

La pechblenda de buena calidad contiene hasta un 80% de óxido uranoso-uránico ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ). Es un mineral de color pardo a negro, con brillo parecido al del alquitrán en la forma de uraninita cristalizada. Madame Curie fué de las primeras personas que reconoció este material como manantial de radio.

La carnotita, que es la segunda fuente principal de uranio, ha sido descubierta en Arizona, Colorado y Utah. Se halla como impregnación de color amarillo-canario en las piedras areniscas. La extracción de este mineral ascendió continuamente desde un mínimo de 254 toneladas en 1934 hasta un máximo de 6256 toneladas en 1939. El peso real de uranio extraído del mineral en 1939 fué de 26 885 Kg. No se ha divulgado la extensión real de los yacimientos.

Hasta hace poco, la única aplicación del uranio era como agente colorante para los vidrios y productos de cerámica. Se empleó en lentes color ámbar para señales y en un vidrio de especial coeficiente de dilatación para los contactos de vidrio con metal en los tubos de radio.

\*Por comodidad, el peso aproximado de un elemento se expresa como exponente de símbolo químico. El número atómico, cuando se expresa, es un subíndice que precede al símbolo. Por tanto,  ${}_{92}\text{U}^{238}$  es uranio de número atómico 92 y de peso atómico 238 aproximadamente.

camente reacción en cadena, como es la combustión ordinaria.

*Entonces, ¿por qué no se produce la explosión del uranio ordinario, o al menos "arde nuclearmente"? Es que hay algunas complicaciones. Como a cada separación se dejan en libertad varios neutrones, es posible la reacción en cadena. Pero para que sea realidad, uno de los varios neutrones puestos en libertad ha de producir otra separación, a fin de mantener en marcha el proceso. De no ser así, el incendio nuclear se extingue.*

Si todos los neutrones puestos en libertad produjeran más separaciones, el material estallaría violentamente. Pero como los neutrones se trasladan casi sin dificultad a través de la materia (como los rayos X) muchos de ellos se pierden, escapando a través de la superficie. Remedio: emplear un terrón bastante grande para que haya menor relación de superficie a volumen. En otras palabras, a menos que el terrón de sustancia desintegrable pase de un determinado tamaño crítico, la reacción en cadena no podrá proseguirse.

Otra complicación es que las impurezas del uranio ejercen un efecto potente en la absorción de neutrones. Esto es muy difícil de remediar, porque la presencia de sólo una millonésima de algunas sustancias da lugar a pérdidas apreciables, y no es cosa fácil la elaboración en escala industrial de nada tan puro.

La peor complicación de todas es que el propio uranio absorbe neutrones de otras maneras que la que produce la separación. Este fenómeno fué a la vez una ventaja y un inconveniente para los fines del proyecto militar. Resulta que el efecto general de esta absorción no desintegrante de neutrones por parte del uranio, es suficientemente grande para impedir la explosión del uranio perfectamente puro, incluso en terrón tan grande que sea despreciable el escape de neutrones a través de la superficie.

Los neutrones desprendidos en el proceso de la separación son *veloces*, es decir, tienen velocidades correspondientes a una energía cinética de varios millones de electrón-voltios. Tales neutrones al entrar en colisión con los átomos de uranio tienen

## Glosario de los Vocablos Importantes de la Física Nuclear

**Átomo**—La partícula más pequeña de materia, que permanece invariable en las reacciones químicas. Todos los átomos tienen como  $10^{-8}$  cm. de diámetro. Consisten en un núcleo central cargado positivamente, como de  $10^{-12}$  cm. de diámetro, rodeado por electrones suficientes para hacer que el átomo sea neutro eléctricamente.

**Neutrón**—Una partícula básica constituyente del núcleo atómico que no tiene ninguna carga eléctrica, y tiene una masa de como  $1.67 \times 10^{-24}$  de gramo.

**Protón**—Una partícula básica constituyente del núcleo atómico, que tiene una carga positiva numéricamente igual a la del electrón cargado negativamente,  $1.60 \times 10^{-19}$  de culombio, y una masa casi igual que la del neutrón. El protón es en sí mismo el núcleo del átomo de hidrógeno ordinario.

**Electrón**—La más pequeña partícula atómica. Unidad de electricidad negativa.

**Deuterón**—Es el núcleo del átomo del hidrógeno denso, que existe en la naturaleza a razón de 1/5000 del hidrógeno ordinario. Es el núcleo compuesto más simple que se conoce, pues consiste en la combinación de un protón y un neutrón.

**Partícula alfa**—Es el núcleo del átomo de helio, y es un núcleo compuesto de 2 protones y 2 neutrones. Este nombre se refería inicialmente a la radiación alfa de las sustancias radiactivas naturales, como el uranio y el radio, que más adelante se reconoció que eran núcleos veloces del gas helio ordinario.

**Número atómico**—Número entero característico de cada elemento químico, que expresa cuántos protones hay en el núcleo de su átomo, y también cuántos electrones hay en el átomo, fuera del núcleo. Se designa generalmente por la letra *Z*. Ejemplos; hidrógeno, *Z*=1; helio, *Z*=2; neón, *Z*=10; uranio, *Z*=92.

**Isótopo**—Una variedad particular del átomo o del núcleo que se caracteriza por un peso atómico particular, así como por un número atómico particular. Ejemplo: todos los átomos de uranio tienen una carga *Z*=92, los del isótopo liviano tienen un peso atómico como de 235, mientras que los del isótopo denso tienen un peso atómico como de 238. Hay también un isótopo muy raro cuyo peso atómico es de 234.

**Neptunio**—Nuevo elemento químico que no se sabe que exista en la naturaleza, cuyo número atómico *Z*=93 y peso atómico de 239. Se forma por descomposición radiactiva del  $U^{239}$  que emite una partícula  $\beta$  (beta) (electrón de gran energía) para convertirse en el  $Np^{239}$ .

**Plutonio**—Nuevo elemento químico que no se sabe que exista en la naturaleza, número atómico *Z*=94 y peso atómico de 239, formado por la emisión radiactiva de una partícula  $\beta$  (beta) del  $Np^{239}$ .

**Moderador**—Una sustancia (carbono, agua densa, o glucinio) empleada como medio de reducir la velocidad de los neutrones, por medio de choques elásticos de los neutrones con los átomos del moderador.

**Agua densa**—Una clase de agua cuyas moléculas consisten en el isótopo denso del hidrógeno, el deuterio, en combinación con el oxígeno; su símbolo es  $D_2O$  en lugar de  $H_2O$ .

**Reacción en cadena**—Toda reacción, química o nuclear, en la cual el proceso continúa en virtud de la acción de uno de los productos, que hace proseguirse la reacción. Ejemplo: la separación del uranio es causada por un neutrón, y el proceso de la separación desprende o deja en libertad más neutrones, los cuales pueden originar más separaciones o desintegraciones.

**Pila**—Toda disposición en que entren terrones de sustancia susceptible de separación atómica; por ejemplo, el uranio, en unión de un moderador, dispuestos de manera que se utilicen los neutrones desprendidos lo suficientemente bien para originar una reacción en cadena.

una probabilidad más bien grande de perder su energía sin ser captados y sin producir separación o desintegración.

Los neutrones de velocidad media producidos de este modo son incapaces de producir separación en el  $U^{238}$ . Únicamente pueden hacerlo en el  $U^{235}$ , que constituye sólo 1/140 parte del uranio natural.

Los neutrones dotados de muy poca energía (unos diez electrón-voltios) tienen gran probabilidad de ser captados por el  $U^{238}$  para formar el  $U^{239}$ . ¡Esto es muy importante! Más adelante volveremos a hablar de ello. Esto ocurre tan fácilmente que no se puede mantener una reacción en cadena con el uranio ordinario, a causa de los numerosos neutrones que se gastan de esa manera.

Un neutrón no captado va perdiendo energía sin cesar por colisiones con los átomos al difundirse por cualquier sustancia, hasta que su energía media es la del movimiento térmico de los átomos de la sustancia. Los neutrones con determinada energía sumamente pequeña son fuertemente captados por el  $U^{235}$  para producir la separación.

La pista acerca de la *posibilidad* de establecer la reacción en cadena con el uranio metálico de pureza ordinaria, que contiene diversos átomos de uranio, pero predominantemente el  $U^{238}$ , era disponer el uranio en un enrejado de terrones pequeños, a fin de que muchos de los neutrones en movimiento veloz se difundieran, fuera del uranio, en alguna sustancia circundante. Allí disminuiría la velocidad de muchos de ellos antes de difundirse otra vez por el uranio. La idea era que

así la mayoría de los neutrones escaparían de ser captados por el  $U^{238}$  hasta que hubieran perdido tanta energía que fuera improbable la captación por el  $U^{238}$ . Aunque, por último, retornarían a los terrones de uranio, con su velocidad suficientemente reducida, para originar la separación en el  $U^{235}$ .

En el vocabulario de la técnica nuclear, esta otra sustancia que guarda en custodia los neutrones y les ayuda a perder energía hasta que no haya peligro de su captación por el  $U^{238}$ , se llama *el moderador*. Es evidente que la sustancia moderadora

no debe absorber demasiados neutrones, so pena de que esta circunstancia detenga la reacción. Además de esta propiedad de no absorber neutrones, es conveniente emplear una sustancia de poco peso atómico. Esto se debe a que los neutrones cuya velocidad ha de disminuir entran en colisión elástica con el núcleo de la sustancia moderadora, y así abandonan más energía a cada choque, si los dos partícipes en la colisión tienen casi la misma masa. El contenido de hidrógeno del agua corriente sería ideal desde este punto de vista, pero absorbe demasiados neutrones. El agua densa es satisfactoria desde el punto de vista de la absorción de neutrones, pero no se disponía anteriormente de cantidades suficientes. El glucinio metálico era una posibilidad, pero resultaba demasiado costoso; de ahí que se adoptara finalmente el grafito, aunque no antes de haber desarrollado procesos de fabricación para obtener un grado de pureza mucho mayor que el de la práctica industrial ordinaria.

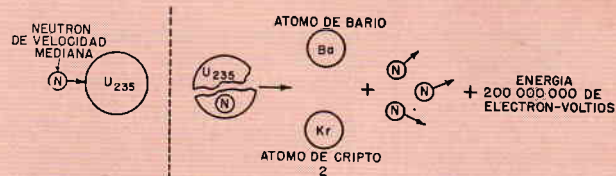
Mientras evolucionaba este panorama cualitativo antes de enero, 1942, permanecía sin resolver la duda de si funcionaría la reacción en cadena, a causa del desconocimiento de las cuantías exactas de las diversas absorciones en juego. Pero al irse adquiriendo mayores conocimientos, se hacía cada vez más probable el que tal entretrejo de terrones de uranio y del moderador—que ahora se llama una pila—funcionaría; es decir, una reacción en cadena que desprendiera continuamente energía atómica por la separación del  $U^{235}$  contenido, que fuera automantenedora.

*¿Cómo puede impedirse la explosión espontánea de una pila?* Si una pila estuviera dispuesta de manera que, por término medio, resultara más de una separación de los neutrones producidos por cada separación, entonces es claro que el número de neutrones presentes, y la cantidad de calor generado, aumentaría en progresión geométrica. Si ocurriera rápidamente una gran multiplicación—digamos en una fracción pequeña de segundo—el fenómeno se convierte entonces en una explosión... y tendremos una bomba atómica. Aun cuando la reacción ocurriera lentamente, si se dejara proseguir la multiplicación, la pila se destruiría pronto por fusión.

Una manera de gobernar la pila es poner canalizaciones a través de la misma, en las cuales se puedan colocar unas varillas de un material que absorba fuertemente los neutrones. Cuando están metidas estas varillas, absorben tantos neutrones que se interrumpe la reacción en cadena. Al ir sacándolas lentamente se llega a un punto en que la reacción justamente puede proseguir. Si se sacan aún más, los neutrones pueden multiplicarse con mayor rapidez, y la pila funciona a mayor grado de potencia. Para detener la pila, basta simplemente con meter las varillas absorbentes. El acero que contenga cadmio y boro es un material adecuado para las varillas de regulación.

El lenguaje del párrafo precedente da a entender que la escala de los tiempos es suficientemente lenta para que un operario pueda mantener la regulación actuando las varillas a mano, o mediante el empleo de un mecanismo de regulación semejante y de acción lenta. Tal es el caso en realidad, debido a otro fenómeno de la física fundamental de la separación—los neutrones demorados.

En mayo de 1942 se descubrió que casi todos, *pero no todos*, los neutrones emitidos en el proceso de la separación se desprenden instantáneamente. El núcleo de uranio, al partirse, suelta inmediatamente algunos neutrones. Pero los fragmentos atómicos que se forman se hallan también en un estado sumamente inestable, y algunos de ellos despiden más neutrones al cabo de una corta demora, 30 segundos por término medio. Estos neutrones demorados son los que establecen la



**El desprendimiento de energía atómica depende del fenómeno llamado separación o desintegración. Un neutrón que se mueva con la velocidad apropiada, choca con un átomo de uranio 235 (o átomo de plutonio), el cual se parte en dos átomos de tamaño mediano, cuyas masas son en total poco menos que la masa del átomo desintegrado. La diferencia es una enorme cantidad de energía, de acuerdo con la ley de Einstein sobre la equivalencia de la masa y la energía.**

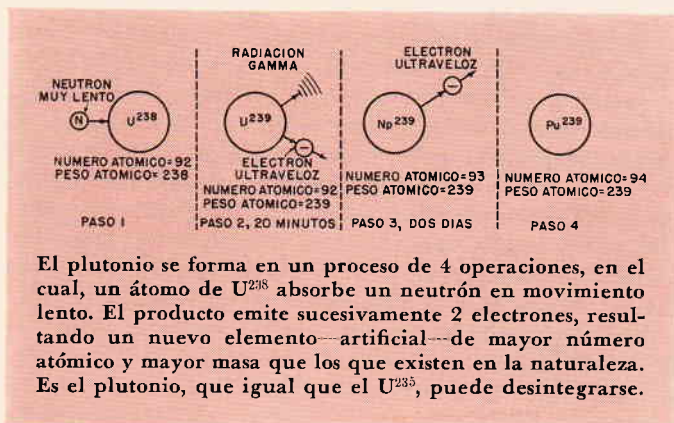
escala de tiempos, en la cual se origina la multiplicación de neutrones en la pila, y la establecen para tan largo tiempo que los mandos de acción lenta son capaces de regular la actividad de la pila.

La primera pila fué construída en los terrenos de la Universidad de Chicago durante el otoño de 1942. Contenía 5625 kg. de uranio, gran parte del cual fué suministrado por la Westinghouse, además de un moderador de grafito. Se pensó hacer la pila en forma esférica, pero como las dimensiones exactas eran menores que lo indicado por los cálculos iniciales, se dejó incompleta la esfera, dándole a la pila real la forma de un gran tirador de puerta invertido.

Funcionó por vez primera el 2 de diciembre de 1942, a un grado de potencia de  $\frac{1}{2}$  vatio, y el 12 de diciembre se acrecentó el grado de potencia a 200 vatios, pero no se le dejó aumentar más porque no había preparativos adecuados para resguardar al personal de las radiaciones peligrosas. Se hicieron estudios ulteriores acerca de las pilas, mediante la construcción de una en Tennessee, proyectada para funcionar a la potencia de 1000 Kw. Más adelante se construyó otra pila que empleaba agua densa como moderador en lugar del grafito.

En resumen, debe recordarse que aunque la pila se construye con uranio ordinario, solamente el 0.7 por ciento de este metal es  $U^{235}$ , que es el activo. El  $U^{238}$  que constituye la mayor parte del metal, tiende en realidad a detener el proceso. Sólo gracias a la ingeniosa disposición del entretrejo, para reducir la velocidad de los neutrones en un moderador, es capaz esta pila de funcionar a pesar de la presencia del predominante  $U^{238}$ .

Esto representa que, considerado como si fuera un combustible, únicamente el 1/140 del peso total de uranio se utiliza directamente; el resto es un material inerte que en su



1905—Einstein enuncia la equivalencia de la masa y la energía.  
1912—Rutherford inicia la teoría nuclear del átomo.  
1919—Rutherford descubre la transmutación del nitrógeno por las partículas alfa del radio.

1928—Se aplica la mecánica de los cuanta a la comprensión de la desintegración radiactiva, por Gurney, Condon y Gamow.

1932—Primera transformación del núcleo del litio por medio de neutrones acelerados artificialmente, por Cockcroft y Walton en Inglaterra. Descubrimiento del hidrógeno denso, por Urey. Descubrimiento del neutrón, por Chadwick.

1939—1940—Período de rápido desarrollo en muchos laboratorios, que comprende: descubrimiento de la radiactividad artificial por Irene Curie y F. Joliot; desarrollo del ciclotrón por E. O. Lawrence; desarrollo de los desintegradores electrostáticos a alta tensión, del átomo, por Van de Graaff (Instituto de Tecnología de Massachusetts) por Tuve (Instituto Carnegie de Washington), por Herb (Universidad de Wisconsin), y por los físicos investigadores de la Westinghouse. Estudio concienzudo de muchas reacciones nucleares y desarrollo paralelo de la teoría fundamental de la estructura de los núcleos. Se aprendió mucho acerca de las fuerzas especiales de cohesión entre los protones y neutrones constituyentes del núcleo.

1939—Descubrimiento de la separación del uranio, por Hahn y Strassman, en Alemania. Primera publicación en este país por Niels Bohr, el 16 de enero de 1939; confirmada inmediatamente y estudiada ulteriormente en muchos laboratorios de Norteamérica. Un grupo de físicos, entre los cuales figuraban E. Fermi (Columbia), E. Wigner (Princeton), y E. Teller (George Washington), reconocieron inmediatamente la posibilidad de sus aplicaciones militares.

Marzo de 1939—Pegram y Fermi (de Columbia) hicieron la primera gestión cerca del Departamento de Marina, para informar acerca de las posibilidades de la separación atómica.

Julio de 1939—Einstein, Wigner y Szilard consiguieron la ayuda de Alexander Sachs, de Nueva York para hacer llegar ante el Presidente Roosevelt los hechos acerca de las posibilidades militares. El Presidente trasladó el asunto a la "Comisión Consultiva sobre el uranio", presidida por L. J. Briggs, director del National Bureau of Standards (Negociado Nacional de Normas). La primera reunión de esta comisión tuvo lugar

el 21 de octubre de 1939. Los físicos comenzaron a adoptar por esas fechas una política voluntaria de reserva o secreto.

28 abril 1940—Reunión de la comisión para planear un gran programa de investigaciones. Primer informe concreto sobre las actividades de los alemanes en este asunto relacionado con fines militares.

Verano de 1940—El Laboratorio de Radiaciones, de la Universidad de California, descubrió la posibilidad de poder utilizar el plutonio por reacción en cadena explosiva.

Verano de 1940—El señor Sachs se ocupa de incitar a mayores esfuerzos sobre este asunto; hace gestiones ante el Presidente Roosevelt por medio de su ayudante el General E. M. Watson. La Comisión del Uranio, bajo la presidencia de Briggs, se constituye como parte del National Defense Research Committee (Comité de Investigaciones para la Defensa Nacional), al crear el Presidente Roosevelt este último organismo. Otorgan varios contratos parciales de investigación a la Universidad de Columbia y la Universidad de Princeton, para realizar estudios fundamentales relacionados con el problema.

1940—1942—El método de difusión gaseosa, para separar los isótopos del uranio, es desarrollado por un grupo de investigadores de Columbia dirigido por los Profesores H. C. Urey y J. R. Dunning.

1940—1944—Investigación del método de difusión térmica, para la separación del isótopo (a base de la investigación en Alemania en 1941) por P. H. Abelson, primeramente en el Negociado Nacional de Normas, después en el Laboratorio Naval de Investigaciones. Se construye una fábrica piloto en el Astillero Naval de Filadelfia.

Verano de 1941—La Comisión del Uranio se amplía con la adición de varios miembros nuevos. La Comisión de Ciencias de la Academia Nacional hizo un estudio independiente de la situación. Este estudio abarcó la consideración de los problemas de ingeniería así como los problemas científicos.

1941—Desarrollo de la separación centrífuga del isótopo, iniciada por el Profesor J. W. Beams, de la Universidad de Virginia. Los primeros modelos de producción fueron contruidos por la Westinghouse, y se llevaron a cabo con buen resultado el ensayo de la fábrica piloto, por el Dr. E. Murphree, de la Standard Oil Development Company.

Otoño de 1941—La previa cooperación y el intercambio de datos entre los científicos ingleses, se extendió principalmente por medio del via-

mayor parte permanece sin transformarse por la pila.

*¿En qué difiere la reacción en cadena de la bomba, de la que ocurre en la pila?* La bomba atómica hace explosión, mientras que la reacción en la pila se efectúa en forma lenta, fácilmente regulada por la actuación a mano de las varillas absorbentes. La gran diferencia fundamental es que la bomba (uno de los tipos) está formada de  $U^{235}$  esencialmente puro, y sin emplear ningún moderador. La reacción en cadena de la bomba es llevada a cabo por veloces neutrones desprendidos directamente por la separación. Como ya se hizo notar, esto no puede ocurrir con el uranio ordinario, porque el  $U^{238}$  reduce la velocidad de los neutrones hasta el punto que no pueden producir separación en el  $U^{235}$ , y también absorbe muchos de ellos. Con el  $U^{235}$  esencialmente puro, estos procesos rivales de absorción no ocurren, y la reacción es llevada a cabo por los veloces neutrones emitidos directamente por una separación del  $U^{235}$ . Dichos neutrones son utilizados inmediatamente para producir la separación de otros átomos de  $U^{235}$ . Ahora, los factores principales tendientes a detener la reacción, son: la pérdida de neutrones a través de la superficie (lo cual fija un tamaño mínimo para la bomba); y las pérdidas por absorción en las impurezas que incluyen toda cantidad residual de  $U^{238}$ .

*¿Qué es el plutonio?* Es un elemento químico recién descubierto, que no se sabe que exista en la naturaleza, pero que se obtiene por transmutación atómica del uranio. El plutonio es importante porque, como el  $U^{235}$ , es un elemento con el que es posible fabricar bombas atómicas.

Ya se dijo que la facultad del  $U^{238}$  para captar neutrones es un fenómeno perjudicial para el funcionamiento de una pila. Cuando el  $U^{238}$  capta un neutrón, se convierte en  $U^{239}$ , y emite radiaciones gamma como hace el radio. Este  $U^{239}$  no es esta-

ble, sino que emite electrones ultraveloces por un proceso de radiactividad espontánea. La duración media de los átomos de  $U^{239}$  es solamente de unos 20 minutos. Por medio de esta actividad, se transforman en átomos que tienen esencialmente la misma masa, pero una carga positiva mayor, 93, en el núcleo, y por tanto es un nuevo elemento químico. Se le llama neptunio y su símbolo es  $Np^{239}$ . El neptunio 239 es también radiactivo espontáneamente y emite otro electrón ultraveloz convirtiéndose por tanto en un átomo que tiene 94 cargas positivas en el núcleo, pero conserva esencialmente la misma masa 239. Este proceso es más lento; la duración media de los átomos de neptunio es de unos 2 días. El átomo resultante de carga 94 y de masa 239, es otro elemento químico nuevo que no se halla en la naturaleza. Se le llama plutonio y su símbolo es  $Pu^{239}$ .

En realidad, la finalidad de las pilas en el proyecto militar no era obtener potencia atómica, sino producir el nuevo elemento, *plutonio*, que proporciona un segundo material para la bomba atómica. Es, de hecho, un competidor del  $U^{235}$ . El proceso mediante el cual se forma el plutonio—la captación de neutrones por el  $U^{238}$ —ya se mencionó como tendiente a detener la reacción en cadena de una pila. Con todo, los terrones de uranio en la pila están expuestos a una atmósfera densa de neutrones, y por tanto se tiene a mano el medio de transmutar una parte de  $U^{238}$  en  $Pu^{239}$ .

Las varias pilas grandes puestas en funcionamiento, generaban muchos cientos de miles de kilovatios como calor. Este calor no se utilizaba, sin embargo, porque la finalidad principal de la operación era la producción de plutonio para emplearlo en la bomba atómica. Para aprovechar ese calor hubiera sido necesaria otra técnica más para hacer funcionar la

Oliphant (Birmingham) a Norteamérica y el de Pegram y Urey a Inglaterra.

Otoño de 1941—Estudios preliminares sobre la bomba atómica, comenzados por el Profesor G. Breit, de la Universidad de Wisconsin. Se continuó la labor durante el verano de 1942, bajo la dirección del Professor J. R. Oppenheimer de la Universidad de California.

16 de diciembre de 1941—El Grupo de Política Suprema, compuesto del Vicepresidente Henry A. Wallace, el Secretario de Guerra Henry L. Stimson y el Dr. V. Bush, recomendó la reorganización del programa, fuera del N. D. R. C., con actividades considerablemente ampliadas y bajo la jurisdicción del Ejército. Hacia estas fechas la Comisión del uranio del N.D.R.C., fué denominada Comité S-1 de la O.S.R.D. (Oficina del Desarrollo de Investigaciones Científicas), y fué autorizando ampliaciones considerables de los programas de investigaciones en diversas universidades.

Enero de 1942—Ampliación mayor de las actividades de investigación, autorizada y comenzada en Berkeley, Chicago, Columbia, Princeton y otros lugares diversos.

Abril de 1942—Más cooperación con los ingleses, desarrollada durante la visita de F. Simon, H. Halban y W. A. Akers, de Inglaterra.

Mayo de 1942—Reorganización del Comité S-1 de la O.S.R.D. como grupo menor.

13 de junio de 1942—Bush y Conant envían al Vicepresidente Wallace, al Secretario Stimson y al General George C. Marshall, propuestas detalladas para mayor ampliación del programa.

18 de junio de 1942—El Coronel J. C. Marshall, del Cuerpo de Ingenieros, recibe órdenes para organizar un nuevo distrito y llevar a cabo las obras.

13 de agosto de 1942—El "Distrito Manhattan" fué establecido oficialmente para este fin.

17 de septiembre de 1942—El Secretario de Guerra designó al General de Brigada (hoy General de División) L. R. Groves, para que se encargara por completo de todas las actividades militares sobre la bomba atómica, asumiendo en adelante las actividades previas de la O.S.R.D.

1942—La investigación llevada a cabo en la Universidad de Columbia, patrocinada por el Gobierno de EE. UU., indicó que era posible realizar una reacción nuclear en cadena.

Mayo de 1942—Descubrimiento por Snell, Nedzel e Ibsen, de los neutrones demorados.

1942—Método espectrográfico de masa, para separar los isótopos del uranio, desarrollado por el Laboratorio de Radiaciones de la Universidad de California.

Otoño de 1942—Primera pila construída en la Universidad de Chicago (más adelante trasladada al Laboratorio Argonne, cerca de Chicago), bajo la dirección de E. Fermi, W. H. Zinn, y H. L. Anderson. Funcionó por primera vez el 2 de diciembre.

Otoño de 1942—Comenzada la construcción del laboratorio de la bomba atómica, en Los Alamos, Nuevo Méjico, bajo la dirección de Oppenheimer.

Otoño de 1942—Comenzado el proyecto, por la Kellogg Corporation, de la fábrica de difusión en gran escala construída en Oak Ridge por la J. A. Jones Construction Company, y su explotación a cargo de la Carbide and Carbon Chemicals Corporation.

Primavera de 1943—Una pila de 1000 Kw. construída en Oak Ridge Tennessee, para la producción del plutonio.

1943—Fábrica en Hanford, Washington, para la producción de plutonio; proyectada por E. I. du Pont de Nemours Company, a base de la labor de investigación del Laboratorio Metalúrgico de la Universidad de Chicago. La fábrica fué construída y mantenida en funcionamiento por DuPont.

Enero de 1943—Solicítase de Westinghouse que proyecte y construya instalaciones esenciales para la fábrica de separación espectrográfica en gran escala de Oak Ridge, proyectada y construída por Stone and Webster. La explotación de la fábrica está a cargo de la Tennessee Eastman Company.

Verano de 1944—Fábrica de difusión térmica en gran escala, construída en Oak Ridge, Tennessee.

16 de julio de 1945—Lanzamiento de la primera bomba experimental en un desierto cerca de Alamogordo, Nuevo Méjico.

6 de agosto de 1945—Lanzamiento de la primera bomba atómica en Hiroshima, Japón.

8 de agosto de 1945—Lanzamiento de la segunda bomba atómica en Nagasaki.

10 de agosto de 1945—El Japón pide la paz.

pila a temperatura elevada, y no se disponía de tiempo para ello.

Cuando se hace funcionar la pila a un alto grado de potencia, genera también una cantidad enorme de substancia radiactiva, mucho más potente que todo el radio que se ha extraído hasta ahora. Esto complica considerablemente el problema del funcionamiento de grandes pilas, que exigen un alto grado de seguridad de funcionamiento, el cual ha de depender por completo de mandos a distancia.

El plutonio se forma en los bloques de uranio de la pila, los cuales han de ser retirados de la pila para extraer el plutonio por métodos químicos bastante simples, porque el uranio y el plutonio, por ser elementos completamente diferentes, son desiguales químicamente. Sin embargo, este proceso se complica considerablemente por la intensa radiactividad de las substancias.

¿Cómo se separa el  $U^{235}$  del uranio ordinario? Los fabricantes de la bomba atómica tenían plutonio a su disposición. Otro material que se puede emplear es el  $U^{235}$ . En vista de todas las incertidumbres del caso, se creyó conveniente desarrollar diferentes métodos y proveer medios de producción para extraer, casi en forma pura, el 0.7 por ciento de  $U^{235}$  contenido en el uranio ordinario. (El tercer isótopo del uranio, el  $U^{234}$ , se halla presente en tan minúscula proporción que es absolutamente insignificante).

A causa de la identidad casi completa de todas las propiedades físicas y químicas de los dos isótopos del mismo elemento—en este caso el  $U^{235}$  y  $U^{238}$ —este problema resulta extraordinariamente difícil. Se ensayaron varios métodos, algunos de los cuales hubo que abandonar por ineficaces, o por exigir un esfuerzo demasiado grande, o por parecer demasiado

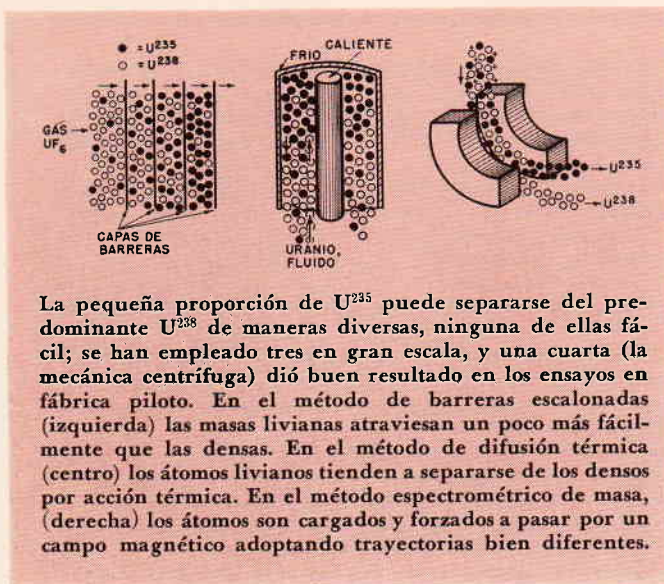
incierto el resultado. Todos ellos se mencionan en la memoria de Smyth. Nosotros trataremos aquí solamente de los tres métodos que fueron llevados de la fase de investigación a las fábricas productoras. Tales son:

- a—método espectrográfico de masa
- b—método de difusión gaseosa
- c—método de difusión térmica

Además de estos tres métodos, se llevó a la fase de fábrica piloto con buenos resultados un cuarto método, el de separación del gas en grandes y veloces centrifugadores. Los centrifugadores trabajan según el mismo principio que las separadoras de la crema en las lecherías, aprovechando la muy ligera diferencia en la masa de los dos isótopos del uranio.

El método espectrográfico de masa fué desarrollado por los físicos del Laboratorio de Radiaciones de la Universidad de California durante el año 1942. Hacia enero de 1943 se encomendó a la Westinghouse que proyectara y construyera la instalación esencial del proceso para la gran fábrica productora de Oak Ridge, Tennessee. En este método, los polos de un electroimán van encerrados en una gran cámara de vacío. El uranio es introducido en la forma de un compuesto volátil, en la descarga de un arco que desintegra el compuesto, ionizando los átomos de uranio.

Una gran diferencia de potencial entre el manantial de iones y el depósito, extrae esos iones por una rendija en el manantial. En lugar de moverse en línea recta a través del depósito, se hace que los iones se muevan en trayectorias circulares por la acción electrodinámica ordinaria de un campo magnético con una corriente (siendo la corriente los iones cargados en movimiento). Los iones livianos se mueven en una trayectoria de radio ligeramente menor que los iones más



densos (la relación de los radios es  $\sqrt{238/235}$ ). Por consiguiente, se pueden colocar cajas receptoras separadas en los sitios apropiados para recoger las substancias de cada clase.

Naturalmente, no es tan sencillo como pudiera dar a entender esta descripción sucinta. El campo magnético ha de estar extraordinariamente bien regulado, y la fluctuación en el suministro de alta tensión ha de ser sumamente pequeña; de otra manera, los haces de iones se desviarían al azar, y o no se recogerían, o se recogerían en el recipiente indebido.

Un detalle interesante de esta fábrica es que las muchas toneladas de conductores de las bobinas de excitación de los electroimanes eran de plata—porque el Gobierno Federal disponía de abundante plata innecesaria en sus reservas monetarias, mientras que el cobre era un material que escaseó durante la guerra.

Una de las características más importantes de este aparato es que el haz de iones, al moverse a través del vacío, ioniza algo del gas residual, proporcionando electrones libres que neutralizan la carga espacial del haz de iones positivos. Esto permite el empleo de corrientes de haz, que aunque pequeñas, son enormemente mayores de lo que pudieran ser si no se neutralizara la carga espacial. Sin esta característica, el rendimiento sería tan pobre que este método no resultaría práctico en su forma actual.

El método de difusión gaseosa exige el empleo del uranio en

*«La energía procedente del átomo debe considerarse como otro manantial de energía a la disposición de la humanidad. No hay quien ponga en duda que ha de ser muy importante, pero es sumamente improbable que deje anticuadas las demás formas de energía».*

la forma de un compuesto volátil,  $UF_6$ , el hexafluoruro. Cuando cualquier gas mezclado se difunde a través de un material poroso, se produce una separación, porque a una temperatura determinada las moléculas livianas se mueven más rápidamente que las más densas. Sin embargo, sólo existe un efecto muy ligero en un simple conducto a través de una lámina o barrera del material poroso. Por consiguiente es necesario disponer muchas separaciones escalonadas, como en la destilación fraccionada, en cada una de las cuales sólo se obtiene un pequeño efecto separador.

La fuerza impulsora que obliga al gas a circular a través de la barrera es por supuesto una caída de presión, que ha de recuperarse volviendo a comprimir el gas para prepararlo a escurrirse por la barrera siguiente. A causa de la naturaleza corrosiva del gas, y de su gran valía después de haber recorrido parcialmente la fábrica, el diseño de estas bombas planteó muchos problemas técnicos difíciles.

El problema de las barreras fué en sí mismo de dificultad suprema. Exigía la producción en gran escala de muchas hectáreas de barreras con conductos microscópicos de tal clase que resistiera la corrosión y el atascamiento por el gas que había de circular.

El método de difusión térmica se basa en la aplicación de un fenómeno físico curioso y poco comprendido, que ocurre en los líquidos y en los gases. En la forma más sucinta, la difusión térmica consiste en lo siguiente. Supongamos que tenemos, ya sean gases mezclados, o una mezcla de dos líquidos mutuamente solubles, y los ponemos en un recipiente que esté caliente en un lado y frío en otro—tomando precauciones para que las substancias no se agiten por las corrientes de radiación térmica. Al cabo de largo tiempo se habrá establecido un equilibrio, en el cual la composición de la mezcla no será la misma en el lado caliente que en el lado frío. En otras palabras, un gradiente en la composición acompañará al gradiente de temperatura.

Este efecto es también muy débil y sólo es utilizable cuando se toman disposiciones para conseguir muchos escalonamientos sucesivos, de manera que se acumule una gran separación resultante. En este método, el gas o líquido sometido al proceso es colocado en un tubo vertical, dentro del cual se coloca otro tubo mantenido caliente por cualquier medio, mientras se mantiene frío el tubo exterior. De este modo existe un gradiente térmico en el fluido sometido al proceso. Ello proporciona un medio de separación, que es acrecentada por la acción de contracorriente debida a la radiación térmica, al subir el fluido caliente cercano al tubo interior y bajar el fluido frío cercano al tubo exterior.

En la primavera de 1943 se demostró que este método podría producir  $U^{235}$  separado, con una fábrica cuyo costo inicial en tiempo y dinero era menor que para los otros métodos. Los tubos interiores eran calentados por vapor de agua, y el inconveniente principal era el enorme consumo de vapor, que hacía que la fábrica de difusión térmica fuera—aunque relativamente barata su construcción—bastante costosa en su funcionamiento.

Actualmente, la separación del  $U^{235}$  del uranio natural se efectúa por medio de fábricas productoras basadas en los tres métodos completamente distintos, en la zona reservada del Distrito Manhattan, en Oak Ridge, Tennessee.

¡Y ahora, vamos a la bomba! Muy poco de esta parte del tema puede descubrirse aún. Los estudios preliminares de este problema se hicieron en 1941 y a principios de 1942. Al final del verano se decidió concentrar toda la labor, en escala considerablemente ampliada, en un laboratorio construido especialmente en Los Alamos, Nuevo México, a unos 64 km. al noroeste de Santa Fe. El primer grupo de edificios del laboratorio, los edificios administrativos, las viviendas para el personal y el acuartelamiento para la guardia militar, fueron construidos durante el invierno de 1942 a 1943, y el personal científico comenzó a llegar y a iniciar su labor, en abril de 1943. Lo que aquella gente realizó, partiendo de edificios desocupados en una meseta remota, con sólo un viejo generador tipo de mina movido por un Diesel como único manantial de

energía eléctrica para el laboratorio, a miles de kilómetros de los principales medios y abastecimientos industriales, es una epopeya en los anales de la ciencia. El que esto escribe tuvo el honor de ayudar en las disposiciones iniciales, durante el primer mes, pero no pudo permanecer allí a causa de otros quehaceres en East Pittsburgh, relacionados con la guerra. Es de esperar que pronto se pueda publicar un relato de las hazañas de aquel grupo, más completo que el contenido en la memoria de Smyth. La historia de este grupo, que aumentaba en número sin cesar, y se comunicaba con los abastecedores distantes sólo por conductos indirectos, a causa de las exigencias de la seguridad militar, ha de ser muy fascinante cuando sea relatada en debida forma.

Aunque está prohibido tratar de los detalles de la bomba, se pueden enumerar estos puntos esenciales:

a—El material activo es el  $Pu^{239}$  de las pilas de Hanford, Washington, o el  $U^{235}$  de las diferentes fábricas separadoras de Oak Ridge, Tennessee.

b—Una bomba menor que el tamaño crítico no hará explosión en modo alguno, de ahí que es imposible experimentar con bombas pequeñas para aprender el modo de hacer las grandes.

c—Antes de disparar la bomba, el material activo ha de mantenerse separado en dos o más terrones, cada uno de ellos de tamaño menor que el crítico. La acción de disparar consiste en reunirlos rápidamente en una masa que tenga dimensiones superiores a las críticas para aquella forma.

d—Esto hay que hacerlo con gran rapidez, empleando un mecanismo de disparo, el cual fué por sí mismo un problema difícil. Se necesita tal rapidez porque si las partes se unen lentamente, comienza una reacción explosiva antes de que estén reunidas por completo. Esto haría estallar esas partes, separándolas, y detendría la reacción en cadena de la separación, con desprendimiento insignificante de energía atómica.

e—Hasta con el mejor diseño posible, la detención de la reacción a causa de estallar la bomba en pedazos separados se esperaba que impidiera la conversión eficaz por separación de todo el material contenido en la bomba. Lo que se consiguió realmente en los ensayos de Alamogordo, Nuevo Méjico, no se ha hecho público todavía.

f—Los productos de la separación son sumamente radiactivos, y si todos ellos hubieran de permanecer en una zona pequeña (digamos, 2 a 3 km.<sup>2</sup>) las radiaciones serían tan intensas que impedirían la existencia de ningún ser viviente en tal región, probablemente durante varias semanas después de la explosión.

g—Para obtener máximo efecto destructor de la explosión, se le prende fuego a la bomba mientras aun se halle a altura considerable del terreno, lo cual facilita también la dispersión en una zona extensa de los productos radiactivos, de modo que la contaminación de la zona no se piensa que sea un atributo importante de esta arma.

*¿Cuál será el futuro?* Aunque ningún científico de reputación hace nunca promesas concretas acerca de nada que pertenezca al futuro, cabe sin embargo aventurar una opinión sobre la probabilidad de que se logren los siguientes adelantos importantes dentro de los diez años venideros:

a—Se desarrollarán métodos más eficientes de producir el  $U^{235}$  y el  $Pu^{239}$ , que permitan mayor producción a menor costo.

b—Estos materiales, en combinación con el uranio ordinario, permitirán construir pilas productoras de energía, de menor tamaño que las desarrolladas hasta ahora.

c—Las pilas tendrán importantes aplicaciones en tiempos de paz como manantiales de energía para fines especiales, y como manantiales de neutrones y de sustancias radiactivas

para trabajos médicos y científicos de otras clases.

d—No es probable que se desarrollen pilas de pequeño tamaño para automóviles o aeroplanos, a causa del peso total incluyendo el material necesario para proteger a los pasajeros contra las radiaciones peligrosas.

e—A causa también de las dificultades para protegerlos, no es probable que estas pilas proporcionen la potencia para locomotoras del ferrocarril. Sin embargo, es razonable suponer

*«... Hubo la sensación entre los que estaban en Alamogordo de que allí había aparecido algo grandioso y algo nuevo que resultaría inmensamente más importante que el descubrimiento de la electricidad o cualquier otro descubrimiento que haya afectado así nuestra existencia». (De la Memoria de Smyth.)*

que dentro de diez años, algunos buques puedan obtener su potencia propulsora de esta clase de pilas.

Aparte del uranio, se sabe que también se puede producir la separación del torio, que abunda mucho más en la naturaleza que el uranio, y por consiguiente pudiera ser el combustible para las pilas del porvenir. El que sea posible desprender energía atómica de otros materiales, es cuestión que sólo puede decidirse por medio de investigaciones futuras. En la actualidad, no hay a la vista ningún medio de hacerlo—pero debe recordarse que la bomba atómica hubiera parecido cosa fantástica a los mejores físicos en estudios nucleares, en 1938.

Aunque la energía atómica pueda parecer extraña y misteriosa al ingeniero, encontrará aplicación en la rama de la generación de energía eléctrica, como manantial de calor. La reacción en cadena de la separación hace que se ponga caliente la pila. Algún fluido radiador térmico ha de pasar a través de la pila para extraer este calor. El fluido caliente puede ser empleado directamente como agente activo en un motor térmico normal; por ejemplo, una turbina de vapor, tal vez de diseño especial. En otras palabras, la pila es una clase nueva de caldera de vapor, y por muy misteriosa que pueda parecer ahora, no hace falta ninguna revolución en la bien sabida práctica ingenieril, mediante la cual se convierte el calor en esfuerzo mecánico, y de aquí en energía eléctrica. Entretanto, el problema más importante es el de los acuerdos internacionales que nos garanticen que la energía atómica sólo ha de ser empleada para fines pacíficos.

### La física nuclear en comparación con las reacciones químicas

Toda la potencia que se deriva de la quema de combustibles, explosiones corrientes y otros procedimientos químicos—hasta de la potencia del músculo—utiliza la energía libertada cuando los átomos cambian o comparten entre sí los electrones que forman la parte exterior de la estructura del átomo. De hecho, solamente los electrones que se hallan más lejos del núcleo de un átomo entran en las reacciones químicas corrientes, y aun cuando se trate de los electrones más fuertes, el núcleo sigue inalterable. Por ende, un átomo de carbono conservará su identidad hasta cuando pase por una serie complicada de reacciones orgánicas, o cuando se convierta en anhídrido carbónico al quemar un combustible.

Las reacciones nucleares representan cambios profundos, muy arraigados, y no es causa de sorpresa que vengan acompañadas de la liberación de un millón a cien millones de veces tanta energía como la que normalmente es libertada en las reacciones químicas corrientes.